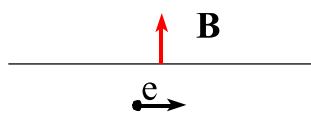


Rys. 30. Zasada działania amperomierza (po lewej) oraz silnika prądu stałego (po prawej).

Wyprowadzenie Równ. 113:

Prąd w metalowym przewodniku jest przenoszony przez swobodne elektrony. Jeśli przez  $n$  oznaczmy liczbę elektronów w jednostce objętości przewodnika, to wielkość średniej siły działającej na pojedynczy elektron dana jest wzorem (założmy, że wektor indukcji pola magnetycznego jest prostopadły do przewodnika):



$$F'_e = ev_u B$$

Korzystając ze wzoru na gęstość prądu:

$$j = nev_u$$

wyliczamy  $v_u$  i podstawiamy do poprzedniego równania:

$$F'_e = eB \frac{j}{ne} = \frac{jB}{n}$$

Drut o długości  $l$  zawiera  $nSl$  swobodnych elektronów (gdzie  $Sl$  jest objętością części przewodnika o przekroju  $S$  i długości  $l$ ), czyli całkowita siła działająca na swobodne elektrony w przewodniku to:

$$F = (nSl)F'_e = nSl \frac{jB}{n}$$

Ponieważ:  $i = jS$ , więc:

$$F = i l B \quad (115)$$

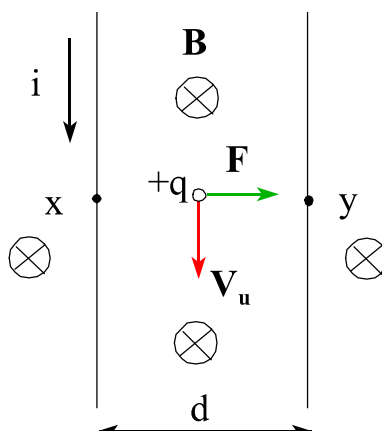
co jest równoważne z Równ. 113 w przypadku pola  $B$  skierowanego prostopadle do przewodnika.

### Efekt Halla

W roku 1879 E. H. Hall przeprowadził doświadczenie, które pozwala określić znak ładunku

płynącego w przewodniku.

Miedziany pasek, w którym płynie prąd o natężeniu  $i$  umieszczamy w polu magnetycznym o indukcji  $\mathbf{B}$  prostopadłej do płaszczyzny paska.



Pole magnetyczne działa na poruszające się umowne ładunki dodatnie siłą  $\mathbf{F}$  skierowaną w prawą stronę:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Pod wpływem tej siły ładunki jednego znaku gromadzą się na jednym brzegu blaszki. Jeżeli mamy ustalony kierunek płynięcia prądu, to niezależnie od tego czy jest on spowodowany ruchem ładunków dodatnich lub ujemnych, będą one odchylane w prawą stronę (jeśli  $q$  jest ujemne, to równocześnie znak  $\mathbf{v}_u$  zmienia się na przeciwny i w efekcie siła Lorentza ma taki sam zwrot).

W ten sposób wytwarza się różnica potencjałów między punktami  $x$  i  $y$ . W zależności od znaku ładunków, będących nośnikami prądu, znak natężenia pola  $\mathbf{E}$  będzie różny. Jeżeli między punktami  $x$  i  $y$  powstanie napięcie  $U_{xy}$ , to wartość wyidukowanego natężenia pola elektrycznego wynosi:

$$E_H = \frac{U_{xy}}{d}$$

Jednak przemieszczanie się ładunków w kierunku brzegu paska w końcu ustaje, ponieważ powstające pole elektryczne  $\mathbf{E}_H$  przeciwdziała dalszemu rozsuwaniu ładunków. Gdy odchylająca ładunki siła Lorentza zostanie zrównoważona przez przeciwnie skierowane pole elektryczne, osiągniemy stan równowagi :

$$q\mathbf{E}_H + q(\mathbf{v}_u \times \mathbf{B}) = 0$$

czyli:

$$\mathbf{E}_H = -\mathbf{v}_u \times \mathbf{B} \quad (116)$$

To doświadczenie pokazuje, że nośniki prądu w zdecydowanej większości ciał mają ładunek ujemny, czyli, że są to elektrony.

Ponieważ w omawianym doświadczeniu:  $\mathbf{B} \perp \mathbf{v}_u$ , więc wartość indukowanego pola elektrycznego wynosi:

$$E_H = v_u B \quad (117)$$

Ponieważ:  $\mathbf{j} = ne\mathbf{v}_u$ , więc natężenie indukowanego pola elektrycznego wynosi:

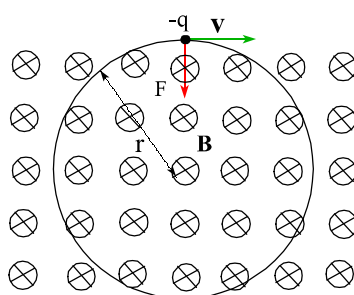
$$E_H = \frac{Bj}{ne} \quad (118)$$

Możemy stąd wyznaczyć koncentrację elektronów:

$$n = \frac{jB}{eE_H} \quad (119)$$

Wielkość  $\frac{1}{ne}$  nazywana jest współczynnikiem Halla. Łączy ona przyłożone pole magnetyczne, gęstość prądu i natężenie indukowanego pola elektrycznego (Równ. 118). Wyznaczywszy go z doświadczenia, znajdujemy znak ładunku nośników prądu oraz koncentrację ładunków. Z kolei, ważnym technicznie zastosowaniem efektu Halla jest możliwość pomiaru indukcji  $\mathbf{B}$  nieznanego pola magnetycznego.

### Ładunki krążące po orbitach



Rys. 31. Naładowana cząstka o prędkości prostopadłej do pola magnetycznego, porusza się po okręgu.

Jeśli naładowaną cząstkę (np. o ładunku ujemnym) o prędkości  $\mathbf{v}$  wprowadzimy w jednorodne pole magnetyczne o indukcji  $\mathbf{B}$  (zakładając że  $\mathbf{v}$  jest prostopadłe do  $\mathbf{B}$ ), to działa na nią siła Lorentza o wartości bezwzględnej  $qvB$ . Zakrzywia ona tor cząstki, czyli spełnia rolę siły dośrodkowej:

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \rightarrow r = \frac{mv}{qB}$$

Cząstka porusza się po torze kołowym o promieniu  $r$  ze stałą prędkością kątową  $\omega$ :

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m} \quad (120)$$

Częstość  $\omega$ , z którą cząstka obiega kołowy tor w polu magnetycznym, nazywana jest *częstością cyklotronową*.

### PRAWO AMPERE'a

Jeśli umieścimy zespół igieł magnetycznych w odległości  $r$  od przewodnika z prądem to igły dążą do ustawienia się zgodnie z polem magnetycznym wytwarzanym przez przewodnik z prądem. Jak widać na poniższym rysunku linie tego pola są okręgami.